

References

1. Karapuzov, E. K. (2013). Technological foundations increased operational efficiency of waterproofing systems, 304.
2. Waterproofing materials Ceresit (2004). Building materials, 6, 30–31.
3. Dolhysi, Ye. M., Halahan, Yu. A. (2008). Principles of design and material requisitions for complex systems waterproofing and repair hydrotechnical and special buildings and structures. Building materials, equipment, technologies of XXI century, 2, 22–25.
4. Sanytskyi, M. A., Sobol, H. S., Markiv, T. E. (2010). The modified composite cements, 130.
5. Rodionov, R. B. (2006). Innovative potential of nanotechnology in the production of building materials. Building materials, equipment, technologies of XXI century, 8, 72–75.
6. Bartos, P. J. M., Hughes, J. J., Trtik, P. (2004). Nanotechnology in construction. RSC publications, 3, 150–157.
7. Sanchez, F., Sobolev, K. (2013). Nanotechnology in concretes production: Review. Vesnyk TSABU, 3, 302–342.
8. Koward, T. (2004). Influence of surface modified carbon nanotubes on ultra high performance concrete. Proc. Int. Symp. Ultra High Performance Concrete, Kassel, 195–202.
9. Yakovlev, G. I., Pervushin, G. N. (2011). Modification of cement concrete multiwall carbon nanotubes. Building materials, 2, 47–51.
10. Yudovich, M. E., Ponomarev, A. N. (2007). Nanomodification plasticizers. Regulation of their properties and strength properties of cast concrete. Stroyprofyl, 6, 49–51.
11. Middendorf, B. Singh, N. B. (2008). Nanoscience and nanotechnology in cement materials. Cement International, 1, 54–56.
12. Revo, S. L., Sementsov, Yu. I., Lozoviy, F. V., Ivanenko, E. A., Druga, L. (2008). Structure and resistance of

the Al-C nano-composite material. Heat treatment and surface engineering, 8 (2), 3–17.

13. Pushkarova, K. K., Sukhaneych, M. V., Bondar, K. V., Martsih, A. S. (2010). Slag-content cement modify zeolite as basis for waterproofing solutions. News DonDABA "Modern building materials, design and innovative technology of buildings", 1/5(85), 102–108.
14. Pushkarova, K. K., Sukhaneych, M. V., Martsih, A. S. (2013). Technological aspects of the introduction of carbon nanotubes in modifying Portland cement compositions. Proc. conference "Production of power- and resource-saving building materials and products". Tashkent, Uzbekistan, 102–108.
15. Pushkarova, K. K., Sukhaneych, M. V., Bondar, K. V. (2011). Waterproofing coating penetrating action with improved performance properties. Resource-efficient materials, structures, buildings and constructs, 22, 125–131.
16. Pushkarova, K. K., Sukhaneych, M. V., Bondar, K. V. (2014). Penetrability Waterproofing coating based on slag - contain cements, modified by natural zeolites. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/6(69), 57–62. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24879
17. Pushkarova, K. K., Sukhaneych, M. V., Martsih, A. S. (2014). Using integrated supplements containing carbon nanotubes and a plasticizers to modify the cement composition. Building materials, sanitary ware and appliances, 51, 14–20.
18. Pushkarova, K. K., Sukhaneych, M. V., Martsih, A. S. (2014). Optimization of mechano-activated cement compositions modified carbon nanotubes. Proc. international seminar "Modeling and optimization kompozytov" MOK, Odessa, 202–205.

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Пушкарьова К. К.

Дата надходження рукопису 25.11.2014

Суханевич Марина Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, докторант, кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: m.suhaneych@ukr.net

УДК 621.039.53

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.33717

ПУТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО ОХРУПЧИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000

© В. Г. Ковыршин, А. В. Сахно, В. А. Григорьева

Выполнен анализ мероприятий, направленных на повышение достоверности результатов испытаний образцов-свидетелей, которые используются при оценке радиационного охрупчивания материалов корпусов реакторов. На основании экспериментальных данных продемонстрировано влияние выполненных мероприятий на изменение дозовой зависимости критической температуры хрупкости корпусов реакторов ЮАЭС-1 и РАЭС-3

Ключевые слова: корпус реактора, образцы-свидетели, радиационное охрупчивание, критическая температура хрупкости, дозовая зависимость

The analysis of measures aimed at improving the reliability of the test results of surveillance specimens that are used in the assessment of radiation embrittlement of materials of reactor vessels is done. It is demonstrated the effect of the realized measures to change of the dose dependence of the transition temperature of the material SUNPP-1 and RNPP-3 on the basis of experimental data

Keywords: reactor vessel, surveillance specimens, radiation embrittlement, brittleness critical temperature, dose dependence

1. Введение

Для атомной энергетики Украины в настоящее время одним из приоритетных направлений является продление срока эксплуатации энергоблоков ВВЭР-1000. Корпус реактора является одним из главных элементов реакторной установки, определяющим ресурс энергоблока в целом. Сохранение целостности корпуса при всех режимах эксплуатации, включая аварийные ситуации, в течение всего срока эксплуатации является основным условием безопасности.

Известно, что влияние эксплуатационных факторов (нейтронного облучения, повышенной температуры, циклической нагрузки) на материалы корпуса реактора приводит к изменению их свойств – прежде всего, к снижению сопротивления хрупкому разрушению.

Для получения информации об изменении механических свойств материалов корпуса реактора в процессе эксплуатации выполняется периодический контроль за состоянием металла КР по образцам-свидетелям (ОС).

2. Литературный обзор

Программа образцов-свидетелей – это комплекс мероприятий, осуществляемых в целях контроля за изменением свойств металла корпуса реактора по результатам испытаний образцов-свидетелей в процессе эксплуатации энергоблока. Суть программы ОС сводится к размещению образцов-свидетелей в тех же эксплуатационных условиях, что и корпус реактора.

Программа ОС разрабатывается на основании и в соответствии с требованиями нормативных документов ПНАЭ Г-7-008-89 [1] и ПНАЭ Г-7-002-86 [2].

Целью программы ОС является подтверждение консервативности зависимостей изменения свойств материалов корпуса реактора под воздействием эксплуатационных факторов и документальной фиксации результатов контроля по программе ОС, принятых в обосновании назначенного срока службы КР. Эта программа позволяет получить экспериментальную информацию о радиационном охрупчивании материалов и является основой для уточнения нормативных зависимостей, предназначенных для оценки радиационного повреждения материалов КР.

Образцы-свидетели изготавливаются на заводе-изготовителе корпусов реакторов по штатной технологии в соответствии с технической документацией и поставляются заказчику, как правило, в комплекте с КР [3]:

– ОС основного металла КР изготавливаются из припусков одной из обечаек, находящихся против активной зоны, для которой содержание вредных примесей по сумме ($10P+Cu$) является наибольшим, а в случае равенства этого показателя – из обечайки, для которой содержание мышьяка, сурьмы и олова ($As+Sb+Sn$) является наибольшим;

– ОС металла сварного шва и зоны термического влияния изготавливаются из производ-

ственного контрольного сварного соединения, выполненного при той же разделке, при тех же режимах и способах сварки, с применением сварочных материалов той же партии, что и сварные соединения обечаек КР, расположенные в районе активной зоны, прошедшего комплекс термических обработок, как и КР.

Способ отбора проб металла, вырезка и изготовление образцов должны выполняться по конструкторской документации и соответствовать требованиям ПНАЭ Г-7-002-86 [2].

Для контроля изменения механических свойств материалов КР должны применяться следующие образцы [3]:

- 1) для испытаний на статическое растяжение (Р);
- 2) для испытаний на ударный изгиб (образцы Шарпи);
- 3) для определения трещиностойкости типа «Шарпи с трещиной» (С);
- 4) для определения трещиностойкости при испытании на внецентренное статическое растяжение СТ-0,5;

- 5) для испытания на циклическую прочность (У).

Для контроля изменения свойств материалов корпуса реактора предусмотрены облучаемые, температурные и контрольные комплекты образцов-свидетелей.

Комплекты облучаемых образцов-свидетелей размещаются в верхней части выгородки по окружности реактора, а комплекты температурных образцов-свидетелей размещаются в блоке защитных труб.

Для облучения образцы-свидетели помещаются в герметичные контейнеры, изготовленные из нержавеющей стали 08Х18Н10Т.

По мере расходования радиационного ресурса степень охрупчивания металла корпуса определяется с помощью испытаний ОС, комплекты которых через определенные промежутки времени извлекаются из реактора. Комплект «образцы-свидетели» предусматривает несколько сроков извлечения образцов для освидетельствования [1].

Для каждого срока освидетельствования в реактор помещается по одному комплекту облучаемых (комплекты 1Л, 2Л, 3Л, 4Л, 5Л, 6Л) и по одному комплекту температурных (комплекты 1М, 2М, 3М, 4М, 5М, 6М) образцов.

Данные, полученные при испытаниях ОС, должны корректно характеризовать свойства материалов КР как в исходном состоянии, так и в процессе эксплуатации. Результаты считаются достоверными и представительными, если они позволяют однозначно определить необходимые параметры, например, критическую температуру хрупкости материалов корпуса реактора.

В соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-002-86 [2] для определения критической температуры хрупкости материала по результатам испытаний на ударный изгиб необходимо сформировать группу минимум из 12 образцов, флюэнс которых не должен различаться более чем на 10 %.

На первых этапах реализации Штатной программы ОС был выявлен ряд недостатков, главным из которых является неоднородность условий облучения образцов в контейнерной сборке. Это приводит к невозможности сформировать группы с необходимым количеством образцов и с одинаковым флюенсом, как это требуется нормами ПНАЭГ-7-002-86 [2].

С целью повышения достоверности результатов для оценки радиационного охрупчивания материалов корпуса реактора на энергоблоках АЭС Украины внедрялись и реализовывались различные организационные и технические изменения Штатной программы образцов-свидетелей.

3. Мероприятия, направленные на получение представительных результатов программы ОС

3. 1. Повышение достоверности путем увеличения объемов выгрузки ОС

С целью выполнения требований ПНАЭ Г-7-002-86 [2] по количеству и флюенсу ОС в группе на ряде энергоблоков АЭС Украины были реализованы следующие изменения в Штатной программе ОС:

1) в первую выгрузку ОС из корпусов реакторов ЗАЭС-4, ЗАЭС-5, ЮУАЭС-3, ХАЭС-1 выгружено по два облучаемых комплекта ОС – 1Л+4Л;

2) во вторую выгрузку ОС из корпусов реакторов ЗАЭС-2, ЗАЭС-3, ХАЭС-1 также выгружено по два облучаемых комплекта ОС – 2Л+5Л.

В настоящее время приближается к завершению проектный срок эксплуатации корпуса реактора ХАЭС-1. Реализация вышеприведенных мероприятий, а именно:

1) в первую выгрузку ОС, которая была проведена через 5 лет после начала эксплуатации в ППР-93, из КР выгружено два облучаемых комплекта ОС – 1Л+4Л;

2) во вторую выгрузку ОС, через 9 лет эксплуатации в ППР-97, из КР также выгружено два облучаемых комплекта ОС – 2Л+5Л;

3) в третью выгрузку ОС, выполненную через 16 лет эксплуатации в ППР-2004, был выгружен комплект 3Л облучаемых ОС привела к тому, что оставшиеся на облучении в КР комплекты образцов-свидетелей (сборка 1Л5, комплект 6Л) имеют расположение на верхнем этаже сборки, где коэффициент опережения находится около 1.

Тем не менее, на основании полученных представительных результатов испытаний ОС безопасный срок эксплуатации КР энергоблока ХАЭС-1 по условиям хрупкой прочности обоснован до 36 кампаний.

3. 2. Реконструкция образцов-свидетелей

Для увеличения количества испытываемых образцов применяется технология реконструкции обломков испытанных образцов. В основном выполняется реконструкция образцов на ударный (Шарпи) и трехточечный изгиб (СОД) для получения

представительных результатов при определении критической температуры хрупкости, а также ее сдвига вследствие облучения.

Для получения представительных результатов исследований образцов используется градиент потока нейтронов по высоте каждого образца. Это дает возможность подобрать группы половинок испытанных ОС с флюенсами нейтронов на рабочие части с разбросом не более $\pm 10\%$.

Технология основана на использовании электронно-лучевого метода сварки исследуемого фрагмента ОС (так называемой вставки) с концевыми надставками (хвостовиками) в условиях отсутствия перегрева выше 300°C средней части вставки.

На первом этапе реконструкции ОС определяется флюенс нейтронов, накопленных частями ОС на высоте $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{4}$. Далее из половинок испытанных ОС, подобранных в группу, изготавливаются вставки длиной, как правило, $17^{+0,1}$ мм и к обоим торцам привариваются хвостовики длиной $19^{+0,1}$ мм.

Заготовки свариваются на электронно-лучевой установке в 2 прохода с переворотом заготовки на 180° . Сваренная заготовка обрабатывается на внутрикамерном электроэрозионном станке в «горячей» камере до размеров и формы соответствующего стандарта и на образцах, предназначенных для испытаний на трехточечный изгиб, выращивается усталостная трещина.

Технология реконструкции ОС из половинок испытанных внедрена на базе «горячих» камер в ИЯИ НАНУ [4].

Для оценки радиационного охрупчивания материалов корпуса реактора энергоблока ЮУАЭС-1 при переназначении его срока безопасной эксплуатации использовались представительные результаты испытаний реконструированных ОС.

На рис. 1 приведены дозовые зависимости сдвига критической температуры хрупкости для основного металла обечайки нижней КР ЮУАЭС-1, полученные на штатных (нереконструированных) и реконструированных ОС.

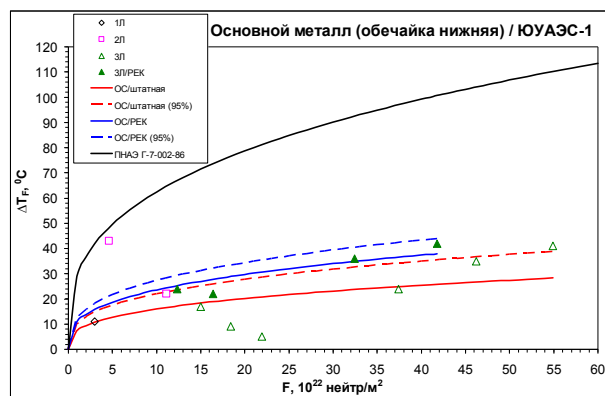


Рис. 1. Дозовая зависимость сдвига критической температуры хрупкости для основного металла обечайки нижней КР ЮУАЭС-1

Анализ результатов испытаний штатных и реконструированных ОС выполнен в соответствии с

ПНАЭ Г-7-002-86 [2]. Для оценки степени охрупчивания использовался коэффициент радиационного охрупчивания A_F , полученный путем приближения экспериментальных данных степенной функцией, задаваемой уравнением ПНАЭ Г-7-002-86 [2]:

$$\Delta T_F = A_F \left(\frac{F}{F_0} \right)^{1/3},$$

где F – флюенс нейтронов с энергией $E > 0,5$ МэВ; $F_0 = 10^{22}$ нейтр/м².

Как видно из рис. 1, имеется большой разброс данных, полученных по результатам испытаний штатных ОС. Также можно заметить, что радиационное охрупчивание для образцов третьей

выгрузки более умеренное по сравнению с данными для второй выгрузки. Возможно, при непродолжительных сроках облучения, существенный вклад в упрочнение и охрупчивание материалов корпуса реактора вносит термическое старение. Поэтому при анализе результатов испытаний штатных ОС не были учтены результаты испытаний комплекта 2Л.

Значения коэффициентов радиационного охрупчивания, полученные с помощью приближенных дозовых зависимостей степенной функции вида (1) и приведенные в табл. 1, не превышают нормативное значение A_F для основного металла обечайки нижней (15Х2НМФА) корпуса реактора ЮУАЭС-1, равное 29 °С [2].

Таблица 1

Значения коэффициентов радиационного охрупчивания дозовой зависимости сдвига критической температуры хрупкости

Образцы-свидетели	A_F	A_F (95 %)	R^2	σ^2
Штатные	7,4	10,2	0,466	99,479
Реконструированные	10,9	12,7	0,809	17,559

Дозовая зависимость сдвига критической температуры хрупкости, полученная по результатам испытаний реконструированных ОС, более достоверно описывает закономерность радиационного охрупчивания основного металла. В подтверждение данного факта свидетельствуют значения коэффициента регрессии (R) и среднеквадратического отклонения (σ^2), приведенные в табл. 1.

3. 3 Модернизированная программа образцов-свидетелей

Для энергоблоков ЮУАЭС-2, ЗАЭС-4, ЗАЭС-6 после пуска и для ХАЭС-2 и РАЭС-4 перед пуском выполнена модернизация программ ОС.

Модернизация заключалась, прежде всего, в изменении конструкции облучаемых контейнеров с ОС (рис. 2). Также улучшена номенклатура ОС, контейнерные сборки были оснащены современными индикаторами флюенса и температуры.

Реализация модернизации обеспечила облучение образцов-свидетелей одного контейнера нейтронным потоком приблизительно одинаковой плотности при расположении контейнерных сборок на штатных местах – на выгородке над активной зоной. Это позволило повысить представительность результатов исследований ОС.

В табл. 2 приведены значения сдвигов критической температуры хрупкости, полученные по результатам испытаний ОС из штатных и модернизированных контейнерных сборок [5].

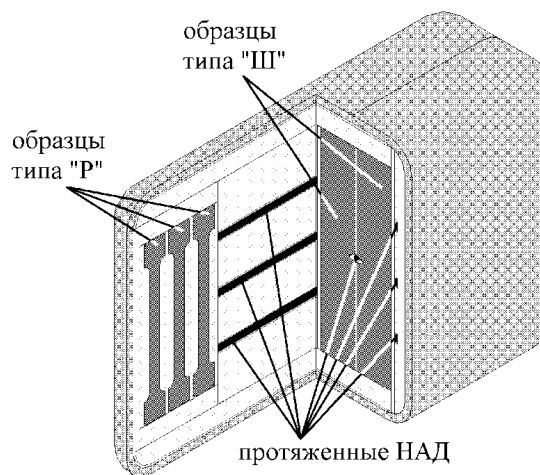


Рис. 2. Плоский контейнер для размещения образцов-свидетелей

Таблица 2

Данные по охрупчиванию основного металла КР энергоблока ЮУАЭС-2

Комплект (расположение)	Макс. разброс по флюенсу, %	Флюенс, 10^{22} нейтр/м ²	ΔT_F , °С
Модернизированный (верхний 2Л1)	7	13,1	29
Модернизированный (нижний 2Л1)	9	27,3	40
Штатный (верхний 2Л1)	24	10,9	34
Штатный (нижний 2Л1)	25	31,0	41

Разброс по флюенсу в пределах каждой группы ОС свидетельствует, что облучение образцов в

модернизированных сборках осуществляется в более однородном потоке нейтронов, чем штатные.

Поэтому эти результаты должны быть использованы для достоверной оценки степени радиационного охрупчивания материалов корпуса реактора.

3. 4. Интегральная программа образцов-свидетелей

В корпусах реактора ВВЭР-1000 АЭС Украины отсутствует техническая возможность установки ОС напротив активной зоны, контейнерные сборки с облучаемыми ОС устанавливаются над выгородкой, что не соответствует требованию норм [1].

Для материалов корпусов реакторов ряда энергоблоков АЭС Украины, а именно: ХАЭС-2, РАЭС-3,4 и ЗАЭС-6, реализуется Интегральная программа образцов-свидетелей (ИПОС) [6]. В рамках Интегральной программы облучение ОС КР Украины осуществляется в реакторной установке ВВЭР-1000 энергоблоков 1 и 2 АЭС Темелин, на которых имеется возможность установки контейнерных сборок с образцами-свидетелями на внутренней стенке корпуса реактора напротив активной зоны.

Целью ИПОС является получение дополнительных данных к реализуемым на АЭС Украины программам ОС для повышения достоверности оценки изменения свойств металла корпусов реакторов и обоснования целостности и срока безопасной эксплуатации.

Облучение материала корпуса одного реактора в другой реакторной установке соответствует международной практике и предусмотрено документом [7]. При реализации интегральной программы выполняются все необходимые условия, предусмотренные документом [7], а именно:

1) проект и эксплуатационные условия реакторов должны быть схожими для обеспечения возможности сравнения радиационного повреждения как функции мощности. Энергоблоки ХАЭС-2, РАЭС-3,4 и ЗАЭС-6 и энергоблоки № 1 и № 2 АЭС Темелин являются промышленными энергетическими установками ВВЭР-1000;

2) для получения достоверной информации по Интегральной программе реактор, в котором находятся облучаемые ОС, должен работать в номинальном режиме. ОС КР энергоблоков АЭС Украины облучаются в КР промышленного реактора энергоблоков № 1 и № 2 АЭС Темелин;

3) количество и номенклатура ОС должны соответствовать требованиям нормативных

документов, действующих в Украине. Номенклатура и количество ОС КР АЭС Украины, облучаемых на АЭС Темелин, соответствуют требованиям НД [1], [2] и достаточны для определения изменения свойств металла корпусов реакторов вследствие облучения;

4) для каждого корпуса реактора, как тех, в которых облучаются образцы, так и тех КР, из архивного материала которых они изготовлены, проводятся мониторинг флюенса нейтронов, падающих на элементы КР.

Облучение ОС КР АЭС Украины осуществляется в плоских контейнерах, что обеспечивает облучение в однородных по плотности нейтронных потоках. Равномерное облучение ОС совместно с выполнением требований норм [1], [2] по количеству и номенклатуре ОС обеспечивает получение представительных результатов испытаний образцов материалов корпусов реакторов АЭС Украины.

В качестве примера на рис. 3 приведено сопоставление результатов испытаний ОС на ударный изгиб, полученные в рамках штатной программы ОС (с применением технологии реконструкции) и ИПОС.

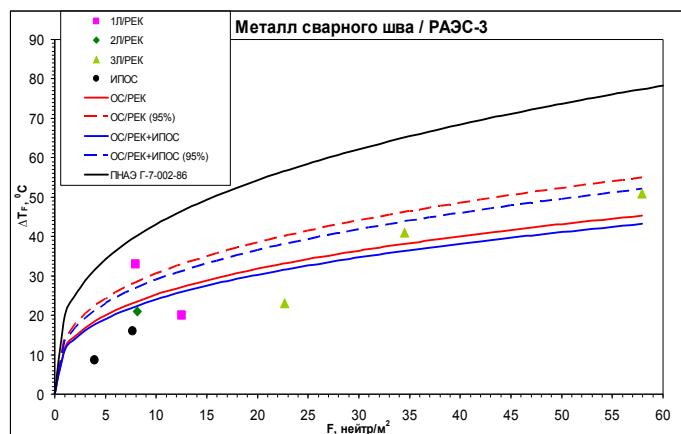


Рис. 3. Дозовая зависимость сдвига критической температуры хрупкости для металла сварного шва КР РАЭС-3

Как видно из данных на рис. 3, учет результатов испытаний ОС в рамках ИПОС позволил уточнить дозовую зависимость сдвига критической температуры хрупкости для металла сварного шва КР РАЭС-3 и получить более корректный прогноз радиационного охрупчивания (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициентов радиационного охрупчивания дозовой зависимости сдвига критической температуры хрупкости

Образцы-свидетели	A_F	A_F (95 %)	R^2	σ^2
Реконструированные	11,7	14,2	0,626	58,951
Реконструированные+ИПОС	11,2	13,4	0,689	60,583

4. Выводы

В работе выполнен анализ организационных и технических изменений Штатной программы ОС, в частности:

- увеличение объемов выгрузки образцов;
- внедрение технологии реконструкции ОС;
- модернизация контейнерных сборок;
- интегральная программа ОС.

Осуществление данных мероприятий для корпусов реакторов АЭС Украины позволило получить представительные результаты оценки степени радиационного охрупчивания материалов. В будущем применение этих мероприятий, наряду с дополнительными мерами, позволит обеспечить проведение контроля свойств материалов КР в течение сверхпроектного периода эксплуатации энергоблоков.

Литература

1. ПНАЭ Г-7-008-89 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» [Текст] / М.: Энергоатомиздат, 1990. – 141 с.
2. ПНАЭ Г-7-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» [Текст] / М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с.
3. ПМ-Т.0.03.120-08 «Типовая программа контроля свойств металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 по образцам-свидетелям» [Текст] / Киев: ГП НАЭК «Энергоатом», 2008. – 33 с.
4. Вишневский, И. Н. Внедрение технологии реконструкции образцов-свидетелей металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 в ИЯИ НАН Украины [Текст] / И. Н. Вишневский, Н. И. Власенко, Л. И. Чирко и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 2011. – Вып. 2. – С. 54-58.
5. Ковыршин, В. Г. Сравнение результатов испытаний образцов-свидетелей штатного и модернизированного комплекта блока №2 Южно-Украинской АЭС [Текст] : тез. докл. V междунар. науч.-техн. конф. / В. Г. Ковыршин, Э. У. Гриник, В. Н. Ревка, Л. И. Чирко, Ю. В. Чайковский. – Подольск, Россия: 2007. – 109 с.
6. Власенко, Н. И. Интегральная программа образцов-свидетелей для энергоблоков АЭС Украины [Текст] / Н. И. Власенко, О. Я. Зинченко, В. Н. Колочко, И. М. Си-

монов, Ю. П. Гребенюк // Вопросы атомной науки и техники. – 2005. – Вып. 5. – С. 76-79.

7. US code of federal regulation, Nuclear Regulatory Commission, Part 50 (10CFR50) – Domestic licensing of production and utilization facilities [Electronic resource] / Appendix H – Reactor vessel material surveillance program requirements. – Available at: <http://www.law.cornell.edu/cfr/text/10/part-50>

References

1. PNAE G-7-008-89 "Rules of construction and safe operation of equipment and pipelines of nuclear power plants" (1990). Moscow: Energoatomizdat, 141.
2. PNAEG-7-002-86 "Standards based on the strength of the equipment and pipelines of nuclear power plants" (1989). Moscow: Energoatomizdat, 525.
3. PM-T.0.03.120-08 "Typical properties of metal control program VVER-1000 samples-witnesses" (2008). Kiev NAEC "Energoatom", 33.
4. Vishnevsky, I. N., Vlasenko, N. I., Circo, L. I. et al (2011). Introduction of technology reconstruction witness samples metal VVER-1000 INR NAS. Problems of Atomic Science and Technology, 2, 54-58.
5. Kovyryshin, V. G., Grinik, E. W., Revka, V. N., Chirco, L. I., Tchaikovsky, Y. V. (2007). Comparison of the results of tests of samples witnesses staff and upgrade kit unit № 2 South-Ukrainian NPP. Proc. rep. V intern. scientific and engineering. conf. Russia (Podolsk), 109.
6. Vlasenko, N. I., Zinchenko, O. J., Kolochko, V. N., Simonov, I. M., Grebenuk, Y. P. (2005). The integrated program of witness samples for Ukrainian NPPs. Problems of Atomic Science and Technology, 5, 76-79.
7. US code of federal regulation, Nuclear Regulatory Commission, Part 50 (10CFR50)– Domestic licensing of production and utilization facilities, Appendix H – Reactor vessel material surveillance program requirements. Available at: <http://www.law.cornell.edu/cfr/text/10/part-50>

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Туз В.О.

Дата надходження рукопису 30.11.2014

Ковыршин Виталий Георгиевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела продления срока эксплуатации АЭС, Институт поддержки эксплуатации АЭС, ул. Н. Василенко, 7, г. Киев, Украина, 03124
E-mail: kovyrshyn@npp-osi.kiev.ua
Контактный тел.: 067-970-56-91

Сахно Александр Владимирович, кандидат технических наук, начальник лаборатории анализа квалификации и продления срока эксплуатации оборудования АЭС, Государственное предприятие «Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», ул. Василя Стуса, 35/37, г. Киев, Украина, 03142
E-mail: al-sakhno@yandex.ua

Григорьева Валентина Александровна, кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ул. Политехническая, 6, г. Киев, Украина, 03055
E-mail: grigorieva21valentina21@gmail.com